Etude de l'activité bactérienne et fongique de quatre rivières à saumons de la Côte-Nord du St-Laurent, en relation avec des conditions physico-chimiques acides

A. Ahern, S. Cantin et G. Verreault

Direction des sciences biologiques
Ministère des Pêches et des Océans
850 Route de la Mer, C P 1000
Mont-Joli, Québec G5H 3Z4

Août 1987

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques No. 1565

Pêches et Océans Fisheries and Oceans

Canada

88-03992/

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports techniques contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui ne sont pas normalement appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Les rapports techniques sont destinés essentiellement à un public international et ils sont distribués à cet échelon. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques du ministère des Pêches et des Océans, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports techniques peuvent être cités comme des publications complètes. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont résumés dans la revue *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques*, et ils sont classés dans l'index annuel des publications scientifiques et techniques du Ministère.

Les numéros 1 à 456 de cette série ont été publiés à titre de rapports techniques de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 457 à 714 sont parus à titre de rapports techniques de la Direction générale de la recherche et du développement. Service des pêches et de la mer, ministère de l'Environnement. Les numéros 715 à 924 ont été publiés à titre de rapports techniques du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 925.

Les rapports techniques sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement auteur dont le nom figure sur la couverture et la page du titre. Les rapports épuisés seront fournis contre rétribution par des agents commerciaux.

Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Technical reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which is not normally appropriate for primary literature. Technical reports are directed primarily toward a worldwide audience and have an international distribution. No restriction is placed on subject matter and the series reflects the broad interests and policies of the Department of Fisheries and Oceans, namely, fisheries and acquatic sciences.

Technical reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is abstracted in *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts* and indexed in the Department's annual index to scientific and technical publications.

Numbers 1-456 in this series were issued as Technical Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 457-714 were issued as Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate Technical Reports. Numbers 715-924 were issued as Department of Fisheries and the Environment, Fisheries and Marine Service Technical Reports. The current series name was changed with report number 925.

Technical reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page. Out-of-stock reports will be supplied for a fee by commercial agents.

Rapport technique canadien des
sciences halieutiques et aquatiques
No 1565

Décembre 1986

Étude de l'activité bactérienne et fongique de quatre rivières à saumons de la Côte-Nord du Saint-Laurent, en relation avec des conditions physico-chimiques acides

A. Ahern[1], S. Cantin[1] et G. Verreault

Direction des Sciences biologiques
Ministère des Pêches et des Océans
850, route de la Mer C.P. 1000
MONT-JOLI (Québec)
G5H 3Z4

[1] Biologiste-conseil, 2845, rue Poitiers, Sainte-Foy, Québec, G1W 2B7.

Ministère des Approvisionnements et Services Canada 1985
No de catalogue Fs 97-6/1565 ISSN 0706-6570

On devra référer comme suit à cette publication:

Ahern, A., S. Cantin et G. Verreault. 1986. Etude de l'activité bactérienne et fongique de quatre rivières à saumons de la Côte-Nord du Saint-Laurent, en relation avec des conditions physico-chimiques acides. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 1565: viii + 30 p.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
LISTE DES TABLEAUX	iv
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES ANNEXES	vi
RÉSUMÉ/ABSTRACT	vii
PRÉFACE	viii
INTRODUCTION	1
AIRE D'ÉTUDE	2
MATÉRIEL ET MÉTHODES	5
Étude respirométrique	5
Cueillette des feuilles	5
Mesure de consommation d'oxygène	5
Analyse statistique et traitement des données	10
RÉSULTATS ET DISCUSSION	11
Analyse de variance et comparaison multiple des moyennes des mesures de consommation d'oxygène	11
Influence des facteurs environnementaux	15
Analyse de corrélation	17
CONCLUSION	22
REMERCIEMENTS	23
BIBLIOGRAPHIE	23
ANNEXES	25

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau 1:	Caractéristiques physico-chimiques des rivières de la Haute et Moyenne Côte-Nord sélectionnées pour le réseau de surveillance chimique 1984-85	4
Tableau 2:	Statistiques descriptives (moyennes ($\overline{X}$), écart-type (S), valeur minimum (min) et maximum (max)) des mesures de consommation d'oxygène (mg O_2 $l^{-1}g^{-1}h^{-1}$) des communautés bactériennes et fongiques pour les rivières et stations échantillonnées en septembre 1984 et juin 1985	12
Tableau 3:	Composantes de l'analyse de variance à trois niveaux de classification (saison, rivière, station) effectuée sur l'ensemble des lectures d'oxygène (été + printemps)	13
Tableau 4:	Tests Student-Newman-Keuls (SNK) sur la comparaison multiple des moyennes d'oxygène (α = 0,05) calculées à partir a) de la matrice des données (septembre + juin); b) des matrices des données saisonnières (septembre, juin)	14
Tableau 5:	Synthèse des valeurs de dépendance de l'oxygène versus le pH, la température et la combinaison pH-température	20

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1:	Localisation des rivières à saumon de la Côte-Nord intégrées au réseau de surveillance chimique et biologique 1984-85	3
Figure 2:	Localisation des sites expérimentaux établis sur la rivière Laval. Activité respiratoire	6
Figure 3:	Localisation des sites expérimentaux établis sur la rivière Trinité. Activité respiratoire	7
Figure 4:	Localisation des sites expérimentaux établis sur la rivière Matamec. Activité respiratoire	8
Figure 5:	Localisation du site expérimental établi sur la rivière aux Rochers. Activité respiratoire	9
Figure 6:	Distribution des valeurs de consommation d'oxygène, de pH et de température enregistrées dans les secteurs amont et aval des tronçons principaux et des tributaires des rivières Laval, Trinité, Matamec. (Septembre 1984)	18
Figure 7:	Distribution des valeurs de consommation d'oxygène, de pH et de température enregistrées dans les secteurs amont et aval des tronçons principaux et des tributaires des rivières Laval, Trinité, Matamec. (Juin 1985)	19

LISTE DES ANNEXES

		Page
Annexe 1:	a) Mesures de consommation d'oxygène par les bactéries et champignons pour les rivières et stations échantillonnées en septembre 1984 (durée d'exposition: 18-20 jours)	6
	b) Mesures de consommation d'oxygène par les bactéries et champignons pour les rivières et stations échantillonnées en juin 1985 (durée d'exposition: 16-19 jours)	7
	c) Mesures de consommation d'oxygène par les bactéries et champignons pour les rivières et stations échantillonnées en novembre 1984 (durée d'exposition 55-58 jours)	8
Annexe 2:	Méthode de titration chimique micro-Winkler	9

RÉSUMÉ

Ahern, A., S. Cantin et G. Verreault. 1986. Étude de l'activité bactérienne et fongique de quatre rivières à saumons de la Côte-Nord du Saint-Laurent, en relation avec des conditions physico-chimiques acides. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 1565: viii + 30 p.

L'activité respiratoire des communautés bactériennes et fongiques en eaux courantes a été analysée dans le but de vérifier in situ la pertinence de l'information biologique acquise comme indication des effets acides sur les rivières à saumons de la Côte-Nord. Des mesures respirométriques pré-automnales (septembre 1984) et pré-estivales (juin 1985) ont été effectuées à partir de sacs de feuilles d'aulne (Alnus sp) exposés 16-20 jours dans les eaux des rivières Laval (pH printanier et moyenne annuelle > 6,5), Trinité (pH printanier < 5,5 et moyenne annuelle 6,0) et Matamec (pH printanier < 5,0 et moyenne annuelle < 6,0). Les résultats ont démontré: 1) une différence significative des valeurs de consommation d'oxygène enregistrées en septembre sur la rivière Matamec, correspondant à une diminution de 30 à 50% de l'activité respiratoire enregistrée aux mêmes moments sur les rivières Trinité et Laval, non significativement différentes entre elles; 2) une différence significative en juin des valeurs moyennes de consommation d'oxygène enregistrées dans les 3 rivières mettant en évidence l'existence d'un gradient (Matamec < Trinité < Laval) conforme au gradient d'activité pré-établi sur la Côte-Nord; 3) une dépendance significative entre l'activité respiratoire des communautés bactériennes et fongiques et les variations des valeurs combinées de pH et de température, le pH contribuant à plus de 99% en juin et 63% en septembre à la variation des valeurs de consommation d'oxygène de la masse microbienne.

ABSTRACT

Ahern, A., S. Cantin et G. Verreault. 1986. Étude de l'activité bactérienne et fongique de quatre rivières à saumons de la Côte-Nord du Saint-Laurent, en relation avec des conditions physico-chimiques acides. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 1565: viii + 30 p.

Respiratory activity of bacteria and fungi in running waters has been analyzed in order to evaluate the pertinence of this biological information as an indication of acid rain effects on salmon rivers of the Quebec North-Shore. Homogenized leaf (Alnus sp) substrates were incubated in situ during 16-20 days and oxygen consumption was measured in september 1984 and june 1985. The Laval (pH spring and annual mean > 6,5), Trinité (pH spring < 5,5 and annual mean = 6,0) and Matamec (pH spring < 5,0 and annual mean < 6,0) rivers were selected. Results showed: 1) that a significant difference in respiratory activity was registered in the Matamec river in september, showing values 30-50% lower than that registered at the same time in Trinité and Laval rivers, which were not significantly different; 2) that a significant difference in june was registered in respiratory activity of the 3 rivers, showing gradual difference (Matamec < Trinité < Laval) similar to the acidity gradient scale pre-established on rivers of the Quebec North-Shore; and 3) that a highly significant spatial dependence was observed between respiratory activity and pH + temperature, the pH contributing to more than 99% of the total variability in june and 63% in september.

PRÉFACE

Le ministère des Pêches et des Océans, Division de l'habitat du poisson, Direction des Sciences biologiques, poursuit depuis 1981 un programme d'inventaire physico-chimique des effets des précipitations acides dans les rivières à saumons de la Côte-Nord du Saint-Laurent. Intéressé à l'intégration d'outils biologiques à un réseau de surveillance écologique, le Ministère a entrepris à l'été 1984 de mesurer *in situ* la pertinence scientifique de paramètres biologiques-clés concernant les communautés bactériennes et fongiques, les communautés benthiques et les jeunes stades de développement des populations indigènes de saumon atlantique. M. Ghislain Verreault, chargé de projet de la Division de l'habitat du poisson du ministère des Pêches et des Océans, agissait à titre de responsable scientifique. Les travaux ont été réalisés par M. André Ahern et Mme Sylvie Cantin, biologistes consultants, en collaboration avec l'équipe technique du ministère des Pêches et des Océans.

INTRODUCTION

Devant les faits établis au Québec (Langlois et al., 1984) sur l'altération chimique des habitats aquatiques des milieux lacustres du bouclier canadien et des rivières à saumon de la Côte-Nord, devant l'identification de risques potentiels élevés pour la survie des organismes aquatiques, tels les jeunes stades de développement des populations de salmonidés, particulièrement l'omble de fontaine (Salvelinus fontinalis) et le saumon atlantique (Salmo salar), il est apparu nécessaire pour la division de l'Habitat du poisson, du ministère des Pêches et des Océans, de prévoir à court et à moyen terme l'exécution de mesures de mitigation et d'orienter l'exécution de ces mesures par la mise en opération immédiate (1984) d'un réseau de surveillance écologique des rivières à saumon de la Côte-Nord.

L'objectif principal du réseau de surveillance écologique est le suivi temporel des variations des statuts chimiques et biologiques des rivières à saumon les plus représentatives du gradient acide actuel sur la Côte-Nord. L'effort scientifique 1984-85 a été orienté surtout sur la mise en opération et la validation des outils biologiques suivants:

- l'étude de l'activité respiratoire des communautés bactériennes et fongiques en eau courante;
- l'étude des structures des populations et communautés macrobenthiques des eaux courantes;
- l'étude du taux de survie et le suivi du développement des oeufs et alevins des populations indigènes de saumon atlantique.

L'évaluation des statuts chimiques actuels des rivières de la Côte-Nord, à partir des données physico-chimiques recueillies de 1981 à 1985, et l'évaluation de la pertinence des outils biologiques ci-dessus mentionnés comme indicateurs des effets des précipitations acides font l'objet chacun de publication distincte. L'activité respiratoire des communautés bactériennes et fongiques constitue le sujet du présent document.

Dans les milieux aquatiques, les activités bactériennes et fongiques sont indispensables à la remise en circulation des éléments nutritifs soit directement, par dégradation de la matière organique allochtone et autochtone, soit indirectement, en rendant attrayante cette matière organique pour les organismes benthiques du type broyeur, brouteur et râcleur (Nelson et Scott, 1972; Minhsall, 1967; Triska, et al. 1975; Cummins, 1974). Une diminution de l'activité de ces micro-organismes serait donc ressentie à tous les niveaux trophiques de l'écosystème aquatique.

En ce qui concerne particulièrement les effets potentiels de l'acidification du milieu aquatique sur les communautés bactériennes et fongiques, plusieurs études tendent à démontrer que le taux de décomposition de la matière organique diminue avec la diminution des valeurs de pH (Bick et Drews, 1973; Traaen et Laake, 1980). Des études en laboratoire et in situ en rivière ont révélé qu'à une baisse de pH correspond une réduction dans le nombre de bactéries, une augmentation de la densité des populations de champignons et, sur un plan plus général, une réduction du taux de décomposition (bio-dégradation) et de nitrification (Hendrey et al., 1976; Leivestad et al., 1976). En rivière, les mêmes auteurs rapportent une réduction de 50% de l'activité respiratoire lorsque le pH était réduit de 7,0 à 5,2. Une synthèse complète des relations pH et communautés bactériennes et fongiques est présentée dans Haines (1981) et Deilsle et al. (1985).

Nos postulats de travail, en ce qui concerne la surveillance des effets des précipitations acides sur les communautés bactériennes et fongiques des rivières de la Côte-Nord, sont les suivants:

- l'effet global à long terme des précipitations acides peut être révélé par l'identification d'une diminution dans le temps du taux de dégradation de la matière organique en milieu acide;

- l'effet ponctuel d'un stress acide dans le temps (variation saisonnière) et dans l'espace (variation inter et intra-rivière) peut être mis en évidence par une mesure de l'altération de l'activité bactérienne et fongique associée à une quantité de matière organique prédéterminée et exposée in situ à différentes variations de la qualité chimique du milieu (étude respirométrique).

- l'effet global et ponctuel d'un stress acide en rivière peut être mis en évidence par l'identification de populations bactériennes et fongiques acidophiles-acidophobes.

Le présent document concerne le deuxième point, soit l'étude comparative à court terme de l'activité bactérienne et fongique saisonnière (été, printemps) mesurée in situ (étude respirométrique) dans 4 rivières de la Haute Côte-Nord.

AIRE D'ETUDE

Depuis 1981, la Division de l'Habitat du poisson a procédé à l'échantillonnage physico-chimique mensuel (1981-82) et bimensuel (1983-84) de 37 rivières à saumon de la Côte-Nord. Une synthèse des résultats physico-chimiques (Ahern, 1984; Walsh et Vigneault, 1986) a permis de mettre en évidence un gradient chimique intégrant les variations annuelles et saisonnières caractérisant la chimie des eaux de surface des tronçons aval des rivières de la Haute et Moyenne Côte-Nord. Nous présentons au tableau 1 les caractéristiques physico-chimiques des classes chimiques descriptives du gradient acide des rivières de la Côte-Nord. La localisation des rivières est présentée à la figure 1.

Pour l'étude des effets acides sur les communautés bactériennes et fongiques, nous avons retenu 4 rivières: la rivière Laval, masse d'eau suffisamment minéralisée et tamponnée, non acide toute l'année; la rivière Trinité, faiblement minéralisée et tamponnée, légèrement acide toute l'année mais subissant un apport au moins 10 fois plus acide au printemps (pH 6,5-5,5); les rivières Matamec et aux Rochers, très faiblement minéralisées, non tamponnées, acides toute l'année avec un pH printanier $< 5,0$. Une description sommaire des caractéristiques biophysiques de ces rivières est présentée dans Walsh et Vigneault (1986).

Aux figures 2, 3, 4 et 5 respectivement, nous présentons la répartition des stations expérimentales sur les rivières Laval, Trinité, Matamec et aux Rochers.

La sélection des stations à l'intérieur de chaque rivière visait un double but: vérifier la variabilité spatiale des moyennes des lectures de consommation d'oxygène par les micro-organisme compte tenu de la variation probable de certaines caractéristiques physico-chimiques (pH, T°) en relation avec la situation spatiale à l'intérieur des rivières (amont-aval; tronçon principal-tributaire). Une description des caractéristiques physiques et chimiques des stations sélectionnées sera présentée dans Ahern et al. (en préparation).

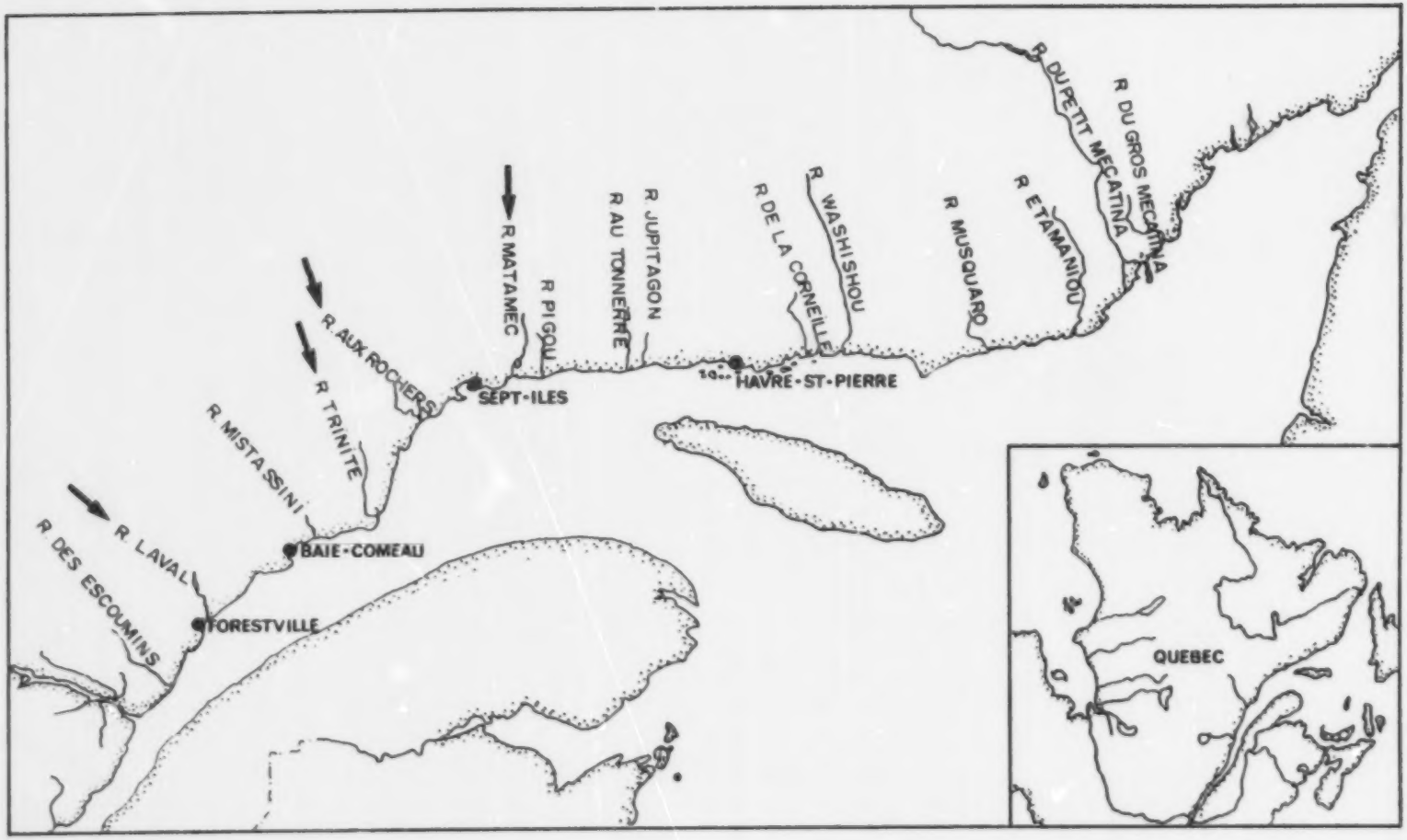

Figure 1: Localisation des rivières à saumon de la Côte-Nord intégrées au réseau de surveillance chimique et biologique (↓) 1984-85.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des rivières de la Haute et Moyenne Côte-Nord sélectionnées pour le réseau de surveillance chimique 1984-85 (tiré de: Ahern, 1984).

RIVIÈRES	ACIDIFICATION (Alc/SO_4^{-2})	TAMPON (Alc:µéq/l de $CaCO_3$)	MINÉRALISATION (Ca^{+2}:µéq/L)	FLUCTUATION pH	ALUMINIUM (µg/l)	GROUPE
Escoumins	3	4	4	5	2	I
Laval	3	4	3	5	1	
Tonnerre	2	2	2	4	1	II
Mistassini	2	2	2	4	1	
Trinité	2	2	2	3	2	III
Pigou	2	2	2	2	1	IV
Jupitagon	2	2	1	2	1	
Rochers	1	1	1	2	1	V
Matamec	1	1	1	1	1	
SIGNIFICATION DES CLASSES	1- < 0,75 année 2- < 0,75 au printemps et > 0,75 année 3- > 0,75 année	1- < 40 µéq/l année 2- Printemps: < 40 µéq/l; Année: 40-80 µéq/l 3- 40-80 µéq/l année 4- Printemps: 40-80 µéq/l Année: > 80 µéq/l	1- < 80 µéq/l année 2- Printemps: < 80 µéq/l; Année: 80-160 µéq/l 3- 80-160 µéq/l année 4- Printemps: 80-160 µéq/l Année: > 160 µéq/l	1- Printemps: pH < 5,5; Année: pH < 6,0 2- Printemps: pH < 5,5; Année: pH 6,0-6,5 3- Printemps: pH 5,5-6,0 Année: pH 6,0-6,5 4- Printemps: pH 6,0-6,5 Année: pH > 6,5 5- Printemps: pH > 6,5; Année: pH > 6,5	1- Al > 150 µg année 2- Printemps: Al > 150 µg Année: Al < 150 µg 3- Al < 150 µg année	

MATÉRIEL ET MÉTHODES

ÉTUDE RESPIROMÉTRIQUE

Cueillette des feuilles

Un lot de 5 kg de feuilles a été cueilli les 9 et 10 août 1984 sur les berges des rivières Trinité et Cassette (affluent des Escoumins). Les feuilles (majoritairement des feuilles d'aulne (Alnus sp) mixées à quelques feuilles de saule (Salix sp)) ont été séchées à température de la pièce, pesées, puis réparties dans des sacs de jute (sac d'oignon) de 5 g (poids sec). Par la suite, les 16 et 17 août 1984, une série de 10 sacs de feuilles par station expérimentale (figs 2, 3 et 4) a été disposée dans les rivières Matamec, Laval et Trinité. Les sacs étaient attachés par groupe de 2, déposés sur la couche superficielle du substrat et immobilisés par quelques roches de façon à contrer l'effet du courant, tout en simulant les conditions naturelles des "trappes à feuilles" observées dans le milieu. Des rubans phosphorescents permettaient de localiser les sacs dans les rivières. Des séries de 3 à 5 sacs ont été recueillies par station, par rivière après 18 et 20 jours d'exposition, soit entre les 4 et 7 septembre 1984.

Un second lot de 5 kg de feuilles, exclusivement des feuilles d'aulne (Alnus sp) a été cueilli le 15 mai 1985, séché à température de la pièce, pesé, puis réparti dans des sacs de 5 g (poids sec). Par la suite, une série de 6 sacs de feuilles par station expérimentale a été déposée le 20 mai sur les rivières Laval, Trinité, Matamec et aux Rochers. Des séries de 3 sacs de feuilles par station, par rivière, ont été recueillies après une durée d'exposition de 16 à 19 jours, soit entre le 3 et le 6 juin 1985.

On notera que durant les activités automnales (novembre 1984) du réseau de surveillance écologique, nous avons cueilli une série de 3 sacs de feuilles aux mêmes stations expérimentales que celles utilisées en septembre 1984 et avons effectué les mesures de consommation d'oxygène sur les feuilles ayant subi une durée d'exposition de 52 à 55 jours. En raison des durées d'exposition distinctes, ces résultats ne sont présentés à l'annexe 1 qu'à titre informatif et ne sont pas considérés dans nos analyses statistiques.

Mesure de consommation d'oxygène

À chacune des stations expérimentales, 5 sacs (septembre 1984) et 3 sacs (juin 1985) de feuilles étaient cueillis. Dès le retour de l'hélicoptère, les sacs de feuilles recueillis étaient vidés de leur contenu dans un bassin; les feuilles étaient délavées pour éliminer le macrobenthos, replacées dans leur sac et le tout était déposé dans un erlenmeyer de 500 ml recouvert d'un papier d'aluminium pour empêcher les échanges photosynthétiques. Pour chaque rivière (septembre) et pour chaque station expérimentale (juin), un minimum de 25 litres (septembre) ou 3 litres (juin) d'eau était récolté dans un contenant en polyéthylène linéaire (plastique) et transporté au laboratoire de terrain. Cette réserve d'eau servait pour les analyses chimiques micro-Winkler.

Au laboratoire de terrain, on complétait le volume de chaque erlenmeyer à 500 ml avec l'eau de la rivière. Une bouteille supplémentaire contenant uniquement 500 ml d'eau était aussi préparée et servait de témoin estimant la consommation d'oxygène due au phytoplancton présent dans l'eau de la rivière. Par la suite, l'eau était recouverte d'une couche d'huile minérale de 1 cm et les erlenmeyers étaient déposés dans un incubateur à 25°C. Le temps d'incubation était de 60

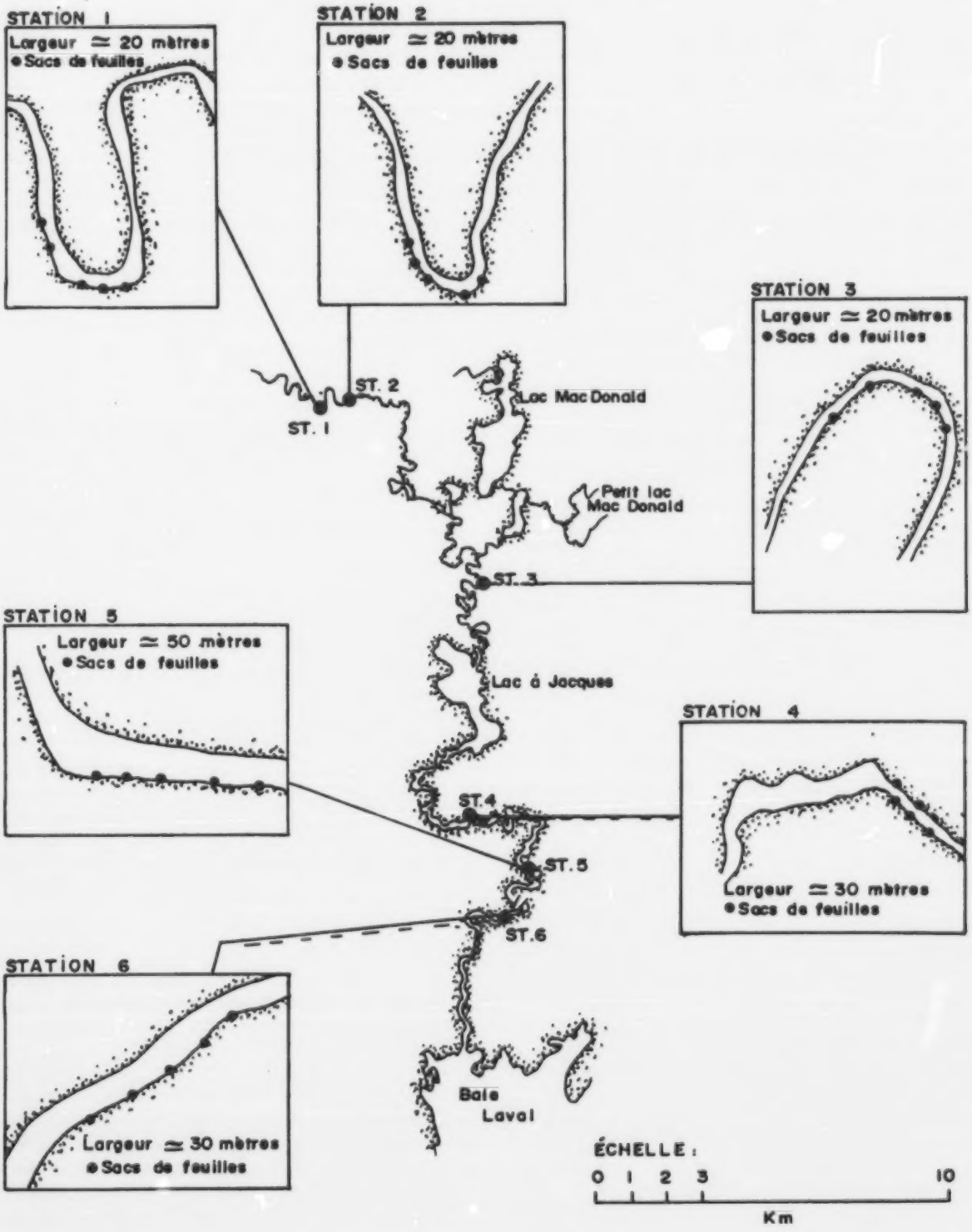

Figure 2: Localisation des sites expérimentaux établis sur la rivière Laval. Activité respiratoire.

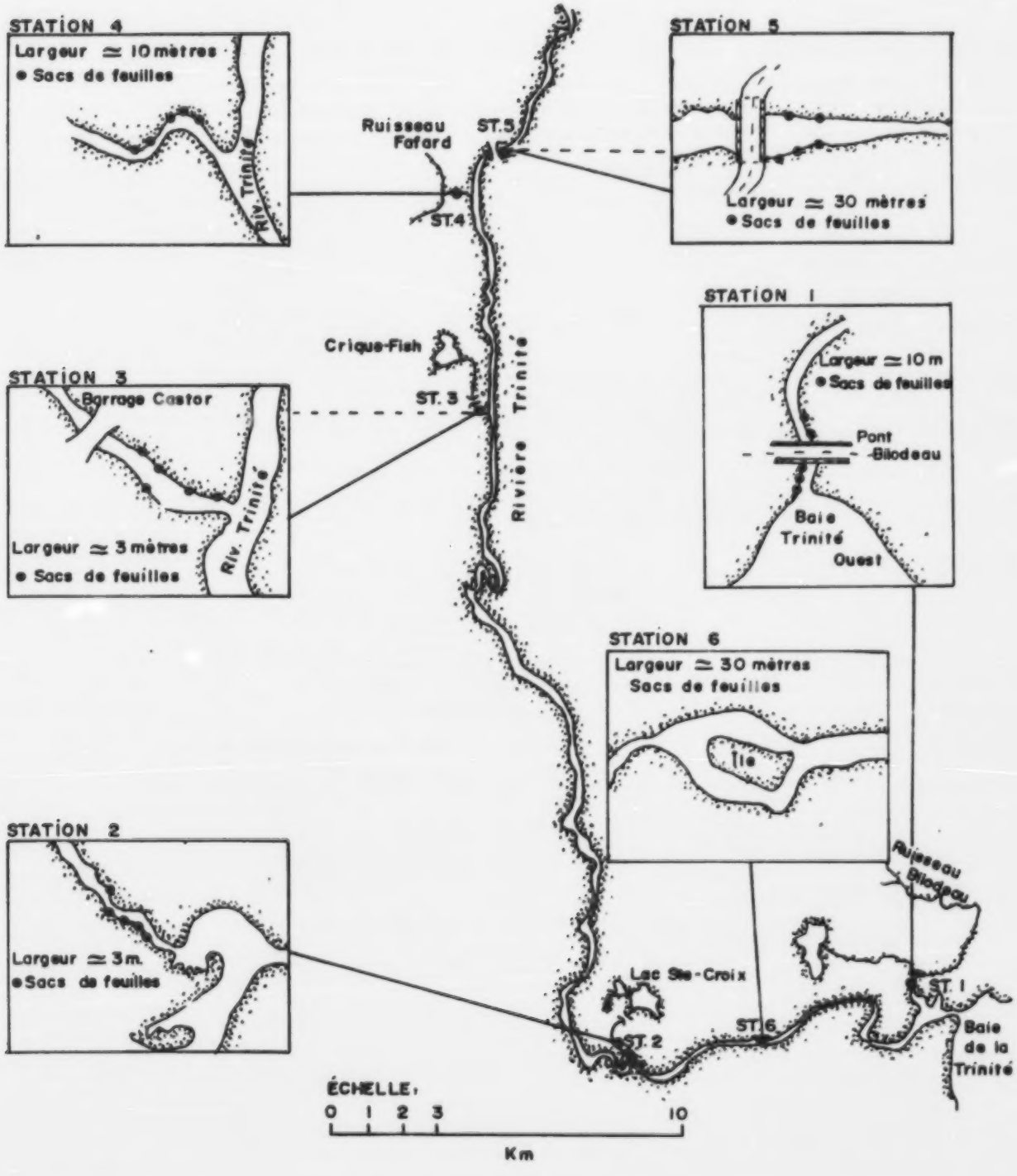

Figure 3: Localisation des sites expérimentaux établis sur la rivière Trinité. Activité respiratoire.

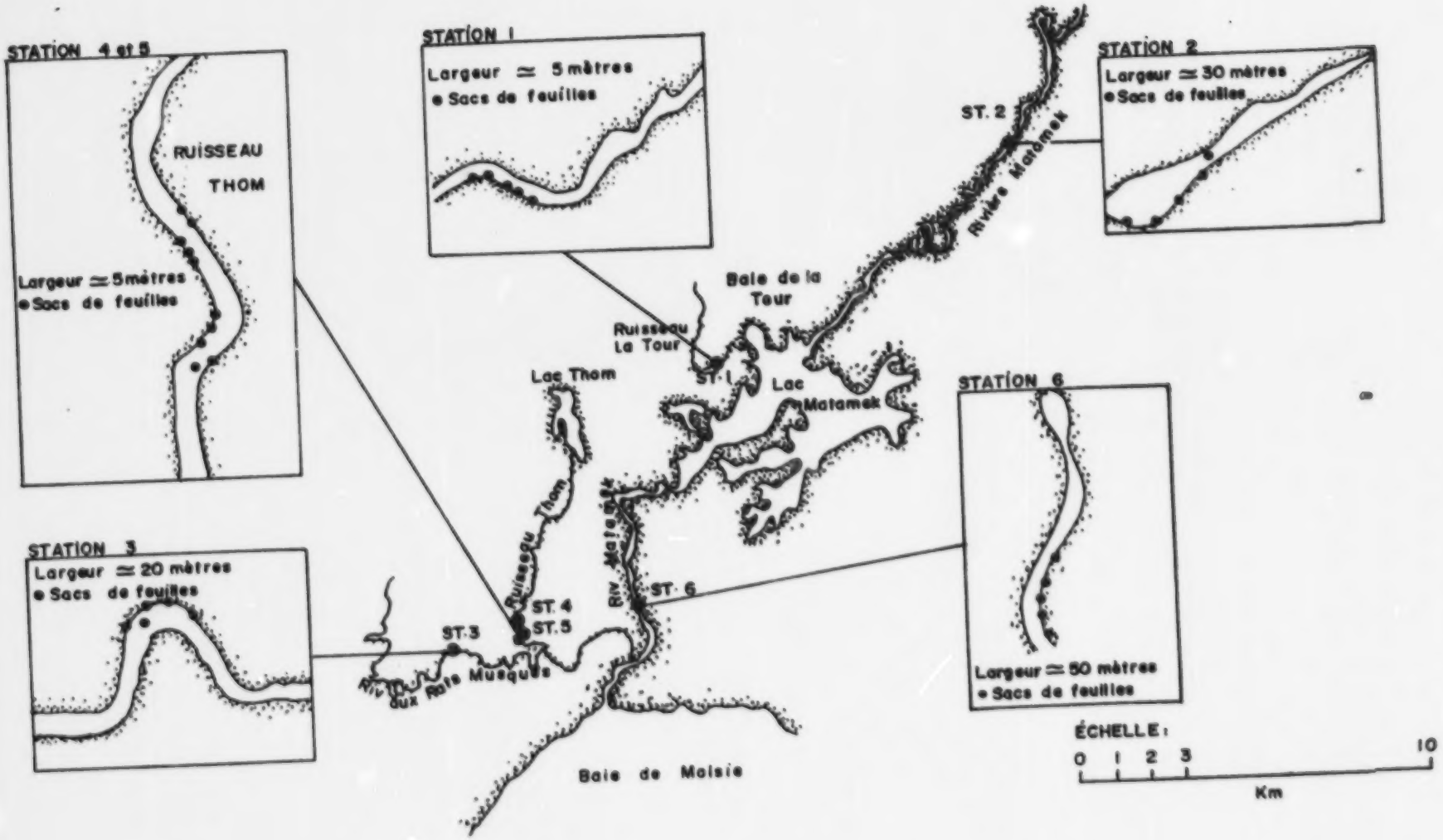

Figure 4: Localisation des sites expérimenteaux établis sur la rivière Matamec. Activité respiratoire.

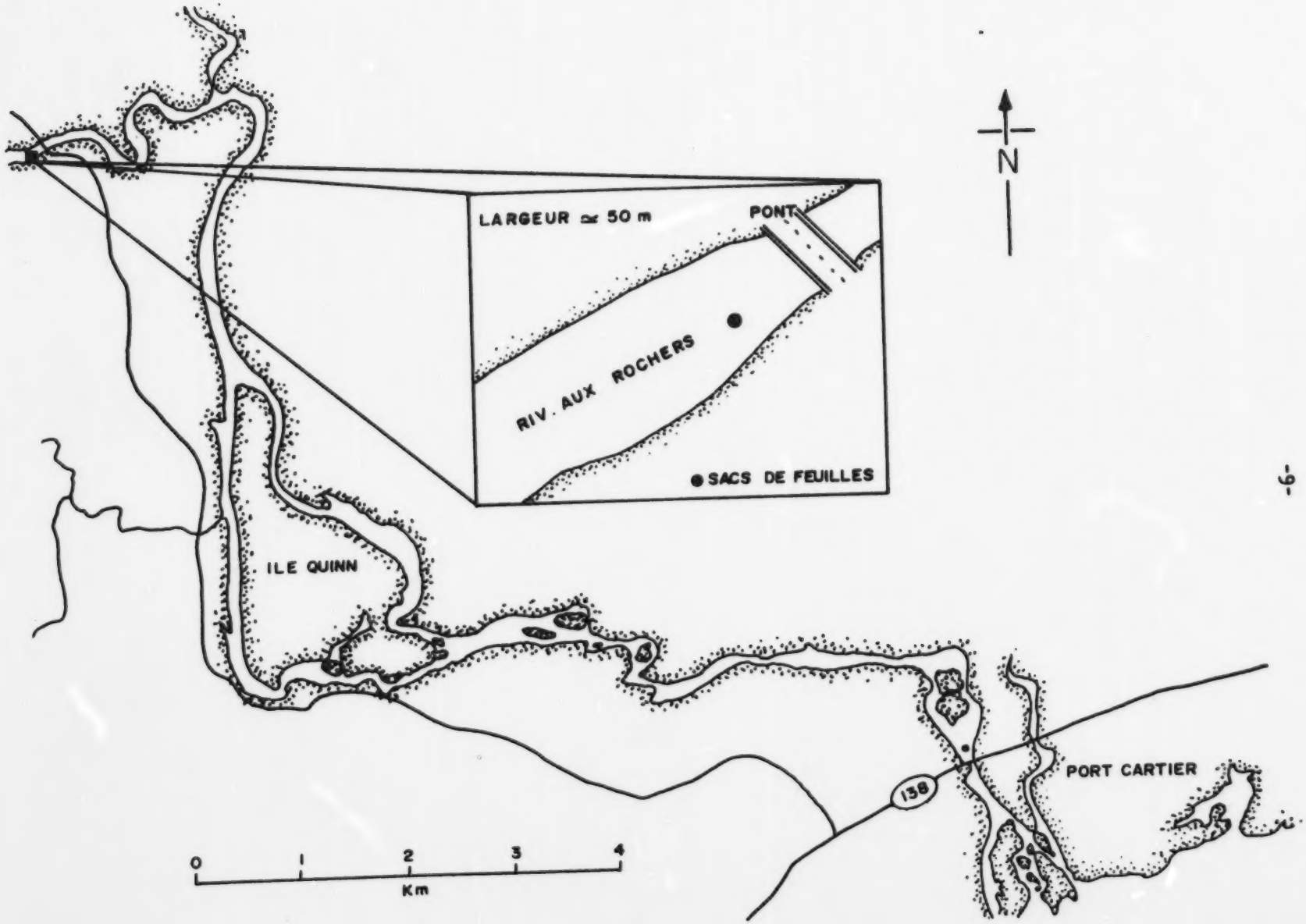

Figure 5: Localisation du site expérimental établi sur la rivière aux Rochers. Activité respiratoire.

minutes conformément au protocole développé par Ahern et Leclerc (1980). Après l'incubation, la concentration d'oxygène était mesurée dans chaque erlenmeyer par la méthode micro-Winkler (les détails de la méthode sont présentés à l'annexe 2).

Les opérations en laboratoire terminées, le contenu des erlenmeyers était filtré, déposé dans des sacs en plastique, conservé dans le formol (10%) et expédié au laboratoire de la Division de l'Habitat du poisson à Québec. Ces filtrats étaient alors séchés à 80°C durant 24 heures et pesés (balance analytique; précision ,001 g). La mesure de la consommation d'oxygène était obtenue de la façon suivante:

- consommation d'oxygène des bactéries et champignons = (consommation des bactéries, des champignons et du phytoplancton) - (consommation du phytoplancton);

- consommation d'oxygène des bactéries et champignons = $[(C_{to} - C_{el}) - (C_{to} - C_{t1})]$

où C_{to}: concentration d'oxygène mesurée dans la bouteille témoin, avant incubation.

C_{t1}: concentration d'oxygène mesurée dans la bouteille témoin, après incubation.

C_{el}: concentration d'oxygène mesurée dans l'erlenmeyer contenant un sac de feuilles, après incubation.

Notre unité de mesure de base est une lecture de consommation d'oxygène par sac de feuilles exprimée en mg d'O_2 par litre d'eau, par gramme de feuilles (poids sec) pour un temps d'incubation de 60 minutes à température constante de 25°C ($mgO_2 l^{-1} g^{-1} h^{-1}$).

ANALYSE STATISTIQUE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

À partir des données connues en littérature et déjà citées antérieurement, nous avons assumé que l'effet attribuable aux facteurs environnementaux (facteurs chimiques, biologiques et leurs interactions) serait le mieux exprimé selon les hypothèses suivantes:

H_1: à l'intérieur de chaque rivière est attendue une différentiation spatiale de l'activité respiratoire des micro-organismes; une différentiation similaire est également attendue pour les valeurs de pH et de température;

H_2: pour l'ensemble des rivières est attendu un effet spatial attribuable en partie aux conditions acides et devant entraîner une différence significative de l'activité respiratoire au moins entre les classes chimiques extrêmes, soit celles des rivières Laval et Matamec.

H_3: pour l'ensemble des saisons, à l'intérieur de chaque rivière sont attendues des structures de communauté bactériennes et fongiques différentes reliées à des cycles de colonisation pouvant varier avec la période d'exposition des feuilles dans les rivières et affecter l'importance de l'activité respiratoire; pour l'ensemble des saisons, à l'intérieur de chaque rivière, est attendue une fluctuation importante des valeurs de pH et de température pouvant affecter également l'activité respiratoire des micro-organismes et influencer les cycles de colonisation.

À partir des données de base des annexes 1a et 1b et conformément à nos hypothèses, nous avons fait des regroupements spatiaux de stations pour chacune des rivières, et les avons identifiés "amont", "aval", et

"tributaire". Pour évaluer l'activité respiratoire du secteur aval de la rivière Matamec du mois de juin, nous avons utilisé les données de la station "aval" de la rivière aux Rochers. Cela s'est avéré nécessaire en raison de la disparition des sacs de feuilles déposés sur la Matamec. Les critères retenus pour cela ont été la similarité des variations physico-chimiques printanières, l'appartenance des deux zones expérimentales à la même classe chimique pour la période 1981 à 1985 et une durée d'exposition identique des sacs de feuilles déposés dans les stations "aval" des rivières Matamec et aux Rochers.

Une analyse de variance (ANOVA) à 3 facteurs (saisons, rivières, stations) a d'abord été effectuée sur l'ensemble des données brutes non-transformées, données préalablement testées quant à leur normalité (test de Kolmogorov-Smirnoff) et à l'homogénéité de leur variance (test de Bartlett). Nous avons utilisé l'analyse de variance adaptée aux échantillons de tailles inégales disponibles sur le logiciel statistique SAS (SAS Institute Inc. 1982). A posteriori des tests de comparaison multiple des moyennes (test de Student-Newman-Keuls (SNK); $\alpha = 0,05$), ont été utilisés afin d'identifier les groupes de données significativement différents mis en évidence par l'analyse de variance.

Dans un deuxième temps, nous nous sommes intéressés à évaluer l'importance des valeurs de pH et de température comme facteur influençant l'activité respiratoire des bactéries et champignons. Pour ce, nous avons effectué des corrélations linéaires simples, partielles et multiples, entre les valeurs d'oxygène (variable dépendante) et les valeurs de pH et de température (variable explicative), et évalué les modèles de régression linéaire correspondants. Ces calculs ont été effectués 1) sur chacune des matrices "saisons" (juin, septembre); 2) sur chacune des matrices "rivière + saison" où des différences significatives dans les mesures d'activité respiratoire ont été identifiées. Ces analyses ont été effectuées sur le logiciel statistique Statgraph (Statistical graphics corporation inc., 1985).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les données brutes des valeurs de consommation d'oxygène ainsi que les valeurs de pH sont présentées à l'annexe 1. Au tableau 2, nous présentons les statistiques descriptives de ces données. Dans les sections qui suivent, nous allons aborder successivement les résultats de l'analyse de variance et des tests SNK et l'influence des facteurs environnementaux.

ANALYSE DE VARIANCE ET COMPARAISON MULTIPLE DES MOYENNES DES MESURES DE CONSOMMATION D'OXYGENE

Les résultats de l'analyse de variance effectuée sur l'ensemble des données de septembre et de juin sont présentés au tableau 3. On peut voir qu'il existe des différences hautement significatives ($P < 0,01$) aux niveaux saison, rivière et station et significatives ($P < 0,05$) au niveau d'interactions saisons x stations; en opposition, on observe des relations non significatives ($P > 0,05$) aux niveaux d'interactions saison x rivière, rivière x station et saison x rivière x station.

A posteriori, nous avons vérifié quels étaient les groupes dont les moyennes sont significativement différentes. Les résultats des tests (SNK) sont présentés au tableau 4. On peut observer pour l'ensemble des données de septembre et juin (tableau 4a):

Tableau 2. Statistiques descriptives (moyennes ($\overline{X}$), écart-type (S), valeur minimum (min) et maximum (max)) des mesures de consommation d'oxygène (mg $l^{-1}g^{1-}h^{-1}$) par les bactéries et les champignons pour les rivières et stations échantillonnées en septembre 1984 (durée d'exposition: 18-20 jours) et juin 1985 (durée d'exposition: 16-19 jours).

Rivière	Station	Septembre					Juin				
		sacs	$\overline{X}$	S	min	max	sacs	$\overline{X}$	S	min	max
Matamec	Amont:	4	0,271	± 0,151	0,072	0,431	3	0,470	± 0,208	0,230	0,600
	Aval: *	5	0,366	± 0,142	0,183	0,542	3	0,473	± 0,114	0,380	0,600
	Tributaire:										
	Rat musqué	5	0,303	± 0,134	0,102	0,427	-	-	-	-	-
	Thom	5	0,458	± 0,194	0,178	0,684	3	0,680	± 0,173	0,490	0,830
	Latour	5	0,426	± 0,142	0,279	0,605	-	-	-	-	-
Trinité	Amont:	4	0,635	± 0,116	0,534	0,808	3	0,360	± 0,176	0,160	0,440
	Aval:	5	0,832	± 0,251	0,489	1,058	3	0,793	± 0,107	0,700	0,910
	Tributaire:										
	Fafard	5	0,647	± 0,351	0,278	1,278	3	1,503	± 0,011	1,040	1,060
	Crique Fish	5	0,684	± 0,263	0,473	1,143	-	-	-	-	-
	Labrecque	4	0,725	± 0,209	0,469	0,904	-	-	-	-	-
	Bilodeau	5	0,901	± 0,199	0,688	1,178	3	0,973	± 0,253	0,700	1,200
Laval	Amont:	3	0,503	± 0,150	0,401	0,676	3	1,017	± 0,392	0,780	1,470
	Aval:	3	0,794	± 0,069	0,739	0,872	3	1,080	± 0,001	1,080	1,080

* Les sacs "aval-juin" ont été cueillis à la station "aval" de la rivière aux Rochers.

Tableau 3. Composantes de l'analyse de variance à trois niveaux de classification (saison, rivière, station) effectuée sur l'ensemble des lectures d'oxygène (été + printemps).

Source de variation	ddL	S.C.	CM	F	P	% variance totale
MODELE	15	4,150,6	276,7	7,59	<0,0001	62,3
Effets principaux simples						
• Saison	1	419,9	419,9	11,52	0,0011	6,3
• Rivière	2	2,758,6	1,089,0	29,88	<0,0001	41,3
• Station	2	822,7	267,0	11,28	<0,0001	12,3
Interactions						
• Saison x rivière	2	79,6	35,4	0,97	0,3828 n.s.	1,0
• Saison x station	2	352,4	233,55	6,41	0,0028	5,3
• Rivière x station	3	169,4	56,5	1,55	0,2084 n.s.	2,5
• Saison x rivière x station	3	126,6	103,4	2,84	0,2437 n.s.	2,0
ERREUR	69	2,515,8	36,46			
TOTAL	84	6,666,5				

Tableau 4: Test Student-Newman-Keuls (SNK) sur la comparaison multiple des teneurs moyennes en oxygène (α = 0,05) calculées à partir a) de la matrice des données globales (septembre + juin); b) des matrices des données saisonnières (septembre, juin).

a)

Niveau de classification		n	Oxygène (mg $O_2 l^{-1} g^{-1} h^{-1}$)
1- Saison:	Septembre	58	0,580[a]
	Juin	27	0,766[b]
2- Rivière:	Laval	12	0,848[a]
	Trinité	40	0,760[a]
	Matamec	33	0,431[b]
3- Station:	Amont	21	0,543[a]
	Aval	21	0,723[b]
	Tributaire	43	0,685[b]

Pour chaque niveau de classification, les valeurs des moyennes qui ne sont pas suivies d'une même lettre sont significativement différentes ($P < 0,05$).

b)

Niveau de classification		Septembre n	Septembre Oxygène (mg $O_2 l^{-1} g^{-1} h^{-1}$)	Juin n	Juin Oxygène (mg $O_2 l^{-1} g^{-1} h^{-1}$)
1- Rivière:	Laval	6	0,648[a]	6	1,048[a]
	Trinité	28	0,737[a]	12	0,794[b]
	Matamec	24	0,364[b]	9	0,541[c]
2- Station:	Amont	12	0,469[a]	9	0,615[a]
	Aval	12	0,664[a]	9	0,782[b]
	Tributaire	34	0,592[a]	9	0,902[b]

Pour chaque niveau de classification, les valeurs des moyennes qui ne sont pas suivies d'une même lettre sont significativement différentes ($P < 0,05$).

- une différence significative des valeurs saisonnières de consommation d'oxygène (septembre: 0,580 mg < juin: 0,766 mg);

- une différence significative des valeurs moyennes de consommation d'oxygène sur la rivière Matamec en opposition aux rivières Trinité et Laval, non significativement distinctes (Matamec: 0,431 mg < Trinité: 0,760 mg et Laval: 0,848 mg);

- une différence significative des valeurs moyennes de consommation d'oxygène des sacs provenant des secteurs amont des tronçons principaux des 3 rivières, en opposition à celles non significativement distinctes mesurées dans les secteurs aval des tronçons principaux et les tributaires des 3 rivières (amont: 0,543 mg < aval: 0,723 mg et tributaire: 0,685 mg).

Si on tient compte de l'influence saisonnière probable associée aux cycles naturels des micro-organismes (H_3) et qu'on considère séparément chacune des périodes d'échantillonnage (tableau 4b), on note:

- en septembre, une différence significative des valeurs moyennes de consommation d'oxygène sur la rivière Matamec, en opposition aux rivières Laval et Trinité, non significativement distinctes (Matamec: 0,364 mg < Trinité: 0,737 mg et Laval: 0,648 mg); aucune différence significative des valeurs moyennes de consommation d'oxygène des sacs provenant des secteurs amont, aval et les tributaires des 3 rivières échantillonnées (amont: 0,469 mg, aval: 0,664 mg, tributaires: 0,592 mg);

- en juin, une différence significative des valeurs moyennes de consommation d'oxygène des 3 rivières (Matamec: 0,541 mg < Trinité: 0,794 mg < Laval: 1,048 mg); une différence significative des valeurs moyennes de consommation d'oxygène des sacs cueillis dans les secteurs amont des tronçons principaux des 3 rivières, en opposition à celles non significativement distinctes mesurées dans les secteurs aval des tronçons principaux et les tributaires des 3 rivières (amont: 0,615 mg < aval: 0,782 mg et tributaires: 0,902 mg).

INFLUENCE DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

Richard *et al.* (1982) discutent plusieurs facteurs connus pouvant influencer les mesures de consommation d'oxygène des communautés bactériennes et fongiques en eaux courantes: 1) la qualité, la diversité et la quantité de matière organique introduite en rivière représentent les facteurs de base déterminant la capacité de support de la masse microbienne active dans le milieu; 2) la durée d'exposition ou période de cueillette, combinée à la localisation spatiale des substrats, va déterminer la variation spatio-temporelle des constituants chimiques des litières de feuilles; 3) les conditions de température, la teneur en oxygène de l'eau, la présence éventuelle d'éléments chimiques essentiels et/ou d'éléments inhibiteurs ou toxiques, durant la période d'exposition vont déterminer l'importance de la masse active de micro-organismes.

Notre intérêt premier est de mesurer *in situ* l'influence relative attribuable à l'acidité du milieu. Pour cela, il est nécessaire de contrôler les facteurs bio-physiques susceptibles d'affecter significativement l'importance ponctuelle des micro-organismes et du même coup, masquer ce que nous voulons mettre en évidence. De façon simplifiée, nous savions par Suberkropp et Klug (1976), Richard *et al.* (1982) et Wetzel (1983), que les feuilles, une fois introduites dans le milieu aquatique, subissent une altération de la cuticule, suivie d'une phase rapide d'assimilation des particules organiques simples (particules azotées riches en fibres protéiniques et amines), suivie finalement d'un ralentissement progressif du taux de dégradation des feuilles, ceci associé à l'accumulation de

composés organiques réfractaires. Cette variation dans le temps du taux de dégradation est étroitement associée aux cycles de colonisations des micro-organismes et en même temps, à l'importance de leur activité respiratoire.

Richard et al. (1982) signalent que le nombre et la biomasse des micro-organismes actifs augmentent avec l'accessibilité et la disponibilité des substances organiques. La friabilité, la texture des espèces de feuilles colonisées, leurs teneurs en azote, influencent significativement l'activité respiratoire mesurée dans le temps et l'espace. Afin d'éliminer cette source de variance potentielle des valeurs de consommation d'oxygène, nous avons uniformisé dans tous nos sites expérimentaux, l'utilisation de feuilles identiques[1], placées dans des sacs identiques, de poids similaire, installés partout de façon similaire dans les couches superficielles du substrat; en outre, dans chacune des rivières, les sites expérimentaux étaient localisés en milieu lotique-érosionnel à courant rapide et aux eaux saturées en oxygène. Cette uniformisation de la capacité de support de la masse microbienne s'exprime dans nos analyses de variances par l'importance négligeable attribuée à la variation intra-station (erreur: tableau 3) de l'activité respiratoire en comparaison aux effets principaux simples du modèle de variance à 3 facteurs (saison, rivière, station).

Avec une capacité de support uniforme, des eaux chimiquement comparables en terme de productivité, on devrait s'attendre pour des milieux biologiquement comparable (diversité et densité des organismes), à une évolution temporelle comparable de la masse des micro-organismes actifs sur des feuilles subissant des durées d'exposition comparables (16 à 20 jours); par conséquent, on devrait ainsi obtenir des valeurs de consommation d'oxygène non significativement différentes d'un site expérimental à l'autre. Richard et al. (1982), dans leur étude spatio-temporelle de la variation de l'activité respiratoire enregistrée sur des feuilles d'aulne (rivière Opinaca: baie de James), n'observèrent une colonisation maximum des organismes benthiques qu'après 55 jours d'exposition des feuilles, ce qui entraîna un broutage excessif et occasionna une baisse notable de l'activité respiratoire. L'utilisation dans notre protocole d'une durée d'exposition des feuilles de 16 à 20 jours devrait ainsi minimiser l'influence locale de la prédation des brouteurs benthiques sur l'importance de la masse active des micro-organismes. On observe à partir de nos analyses de variances et des tests SNK, aucune différence significative intra-rivière, saison par saison, des valeurs de consommation d'oxygène, sauf sur la rivière Trinité, en juin, où la station amont, plus acide et plus froide, révèle une réduction des valeurs de consommation d'oxygène de l'ordre de 50% par rapport au tronçon aval et les tributaires. Il semblerait qu'à chaque saison, à l'intérieur de chacune des rivières pour des temps d'exposition de 16 à 20 jours, existeraient des milieux chimiquement (en terme de productivité intra-rivière) et biologiquement (influence du benthos intra-rivière) comparables entraînant une évolution similaire dans l'espace (variabilité intra-rivière) des masses microbiennes actives dont nous mesurons l'activité respiratoire.

---

[1] En septembre 1984, la présence accidentelle de feuilles de saule (Salix sp) a été détectée lors de la pesée post-expérimentale des feuilles incubées en laboratoire (étude respirométrique). Vu la quantité négligeable des feuilles de saule (moins de 1% du poids total et du nombre total), vu leur présence dans tous les sites expérimentaux, vu leur teneur en azote comparable aux feuille d'aulne, nous avons considéré comme homogène tous les sacs de feuilles utilisés en septembre 1984 et juin 1985.

Enfin, si les sites expérimentaux sur toutes nos rivières étaient sélectionnés de façon à optimiser leur ressemblance physique, le choix des rivières était au contraire orienté de façon à mettre en évidence le gradient d'acidité actuel des eaux de surface des rivières de la Côte-Nord. Nos analyses de variance inter-rivière révèlent qu'il existe aux deux périodes d'échantillonnage des valeurs de consommation d'oxygène significativement plus faibles sur la rivière Matamec. Ce qui est plus intéressant, en terme de réseau de surveillance écologique, c'est la mise en évidence en juin d'un gradient des valeurs moyennes de consommation d'oxygène significativement différentes (Matamec < Trinité < Laval) et conformes au gradient chimique d'acidité pré-identifié sur la Côte-Nord.

Analyse de corrélation

Dans les limites d'interprétation déterminées par notre protocole expérimental, nous avons voulu visualiser pour chaque saison les relations de dépendance pouvant exister entre les valeurs d'oxygène et les variations des valeurs de pH et de température sur chacune des rivières. Les résultats sont présentés au tableau 5.

Si nous référons à la figure 6 pour les valeurs ponctuelles de température et de pH enregistrées en septembre dans les différents sites expérimentaux, nous voyons que pour les trois rivières le pH varie entre 5,7 (Matamec) et 7,0 (Laval) et la température de 7,5°C (Trinité) à 15°C (Matamec). Les coefficients de corrélation linéaire simple et partiel (tableau 5: matrice septembre) pour le pH et la température sont hautement significatifs et significatifs; leur participation respective à la variance d'O_2 est à peu près équivalente, mais les corrélations sont inverses (rp: 0,578 pH; rp: -0,469 T°). La combinaison des deux paramètres est aussi hautement significative, expliquant plus de 43,4% de la variance des valeurs de consommation d'oxygène en septembre (R^2: 0,434), le pH y contribuant à 63,1% (ΔR^2: 0,274) et la température à 36,9% (ΔR^2: 0,160).

À la figure 7, nous trouvons au début juin pour l'ensemble des trois rivières des milieux généralement plus acides qu'en septembre, le pH variant de 4,9 (Matamec) à 6,7 (Laval) et des températures plus froides variant de 0,5°C (Matamec) à 10°C (Trinité). Les coefficients de corrélation partielle (tableau 5: matrice-juin) sont hautement significatifs pour le pH et non significatifs pour la température (rp: 0,706 pH; rp: 0,104 T°). La combinaison des 2 paramètres s'avère hautement significative et explique plus de 56% de la variance des valeurs d'oxygène en juin (R^2: 0,560), le pH y contribuant à plus de 99% (ΔR^2: 0,555).

Si on réfère à la figure 7, on constate qu'une différence significative des valeurs de consommation d'oxygène intra-rivière, n'existe que sur la rivière Trinité, où l'activité respiratoire en juin dans le secteur amont du tronçon principal est inférieure à celle enregistrée dans le secteur aval et les tributaires.

Nous avons vérifié les relations de dépendance des valeurs de consommation d'oxygène enregistrées en juin sur la rivière Trinité par rapport au pH et à la température (tableau 5). On observe des coefficients de corrélation simple et partielle hautement significatifs pour le pH et significatifs pour la température; leur contribution respective est légèrement supérieure pour le pH mais les corrélations sont inverses (Rp: 0,863 pH; rp: -0,525 T°). La combinaison des deux paramètres est aussi hautement significative expliquant 77,4% de la variance des valeurs d'oxygène (R^2: 0,774), le pH contribuant à 86,7% (ΔR^2: 0,687) et la température à 11,3% (ΔR^2: 0,087).

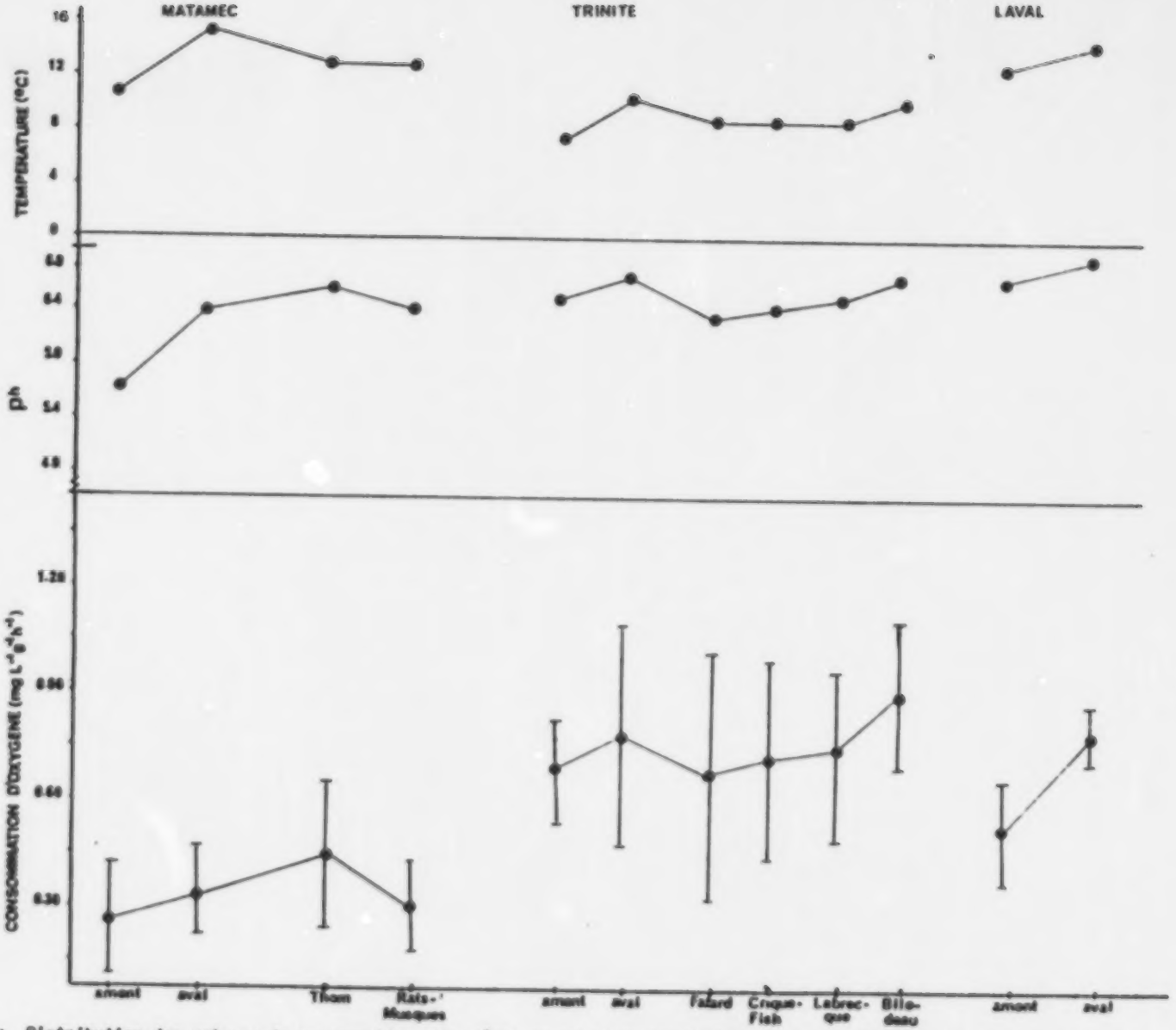

Figure 6: Distribution des valeurs de consommation d'oxygène, de pH et de température, enregistrées dans les secteurs amont et aval des tronçons principaux et des tributaires de rivières Laval, Trinité et Matamec. Septembre 1984. Pour chaque rivière, nous avons arbitrairement relié les points entre les stations afin de faciliter la comparaison visuelle entre les paramètres mesurés.

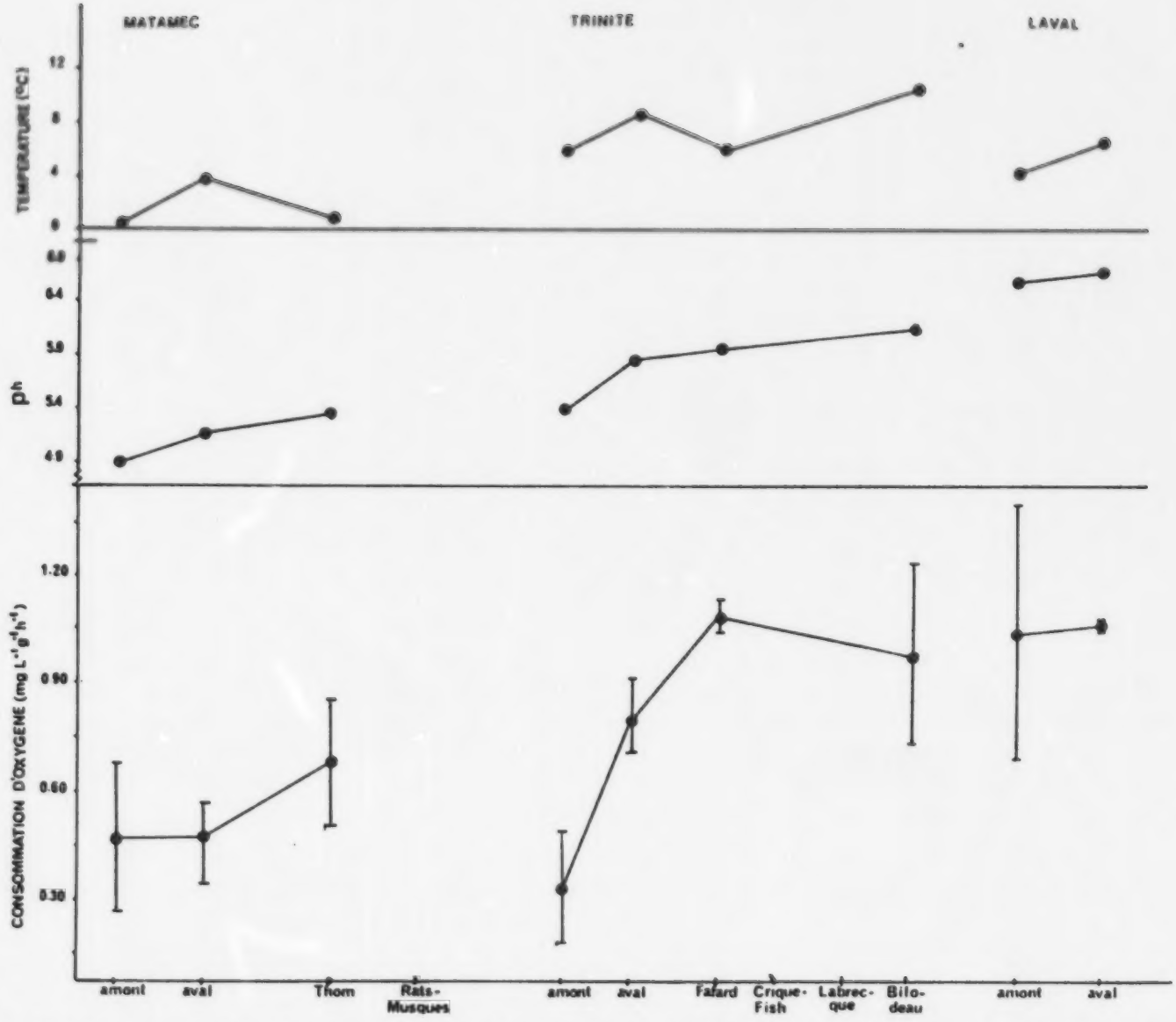

Figure 7: Distribution des valeurs de consommation d'oxygène, de pH et de température, enregistrées dans les secteurs amont et aval des tronçons principaux et des tributaires de rivières Laval, Trinité et Matamec. Juin 1985. Pour chaque rivière, nous avons arbitrairement relié les points entre les stations afin de faciliter la comparaison visuelle entre les paramètres mesurés.

Tableau 5. Synthèse des valeurs de dépendance de l'oxygène versus le pH, température et la combinaison pH-température.

Source	Coefficient de corrélation linéaire (r Pearson)				Coefficient de corrélation partiel (r partiel)				Coefficient de corrélation (r) et de détermination multiple (R^2)			
		O_2	pH	T°		O_2	pH	T°		R^2	ΔR^2	(r)
1- Matrice "Septembre"	O_2	1			O_2	-1						
	pH	,524**	1		pH	,578**	-1		pH	,274	,274	0,658
	T°	-,387*	,023	1	T°	-,469*	,288	-1	T°	,434	,160	(P<0,01)
2- Matrice "Juin"	O_2	1			O_2	-1						
	pH	,745**	1		pH	,706**	-1		pH	,555	,555	0,748
	T°	-,351*	,549*	1	T°	,104	,361*	-1	T°	,560	,005	(P<0,01)
3- Matrice "Trinité-Juin"	O_2	1			O_2	-1						
	pH	,829**	1		pH	,863**	-1		pH	,687	,687	0,879
	T°	-,336*	,668*	1	T°	-,525*	,726**	-1	T°	,774	,087	(P<0,01)

1 ΔR^2 représente l'évaluation du R^2 obtenu par l'addition ou la soustraction d'une des 2 variables (pH, T°) lors de la régression multiple par étape.

** Probabilité d'indépendance des 2 variables < 1%

* Probabilité d'indépendance des 2 variables < 5% mais > 1%

On observe dans nos résultats des corrélations positives hautement significatives entre le variations du pH et celles des valeurs de consommation d'oxygène et cela, quel que soit le scénario matriciel utilisé (tableau 5). Haines (1981) et Delisle et al. (1985) rapportent, dans leur synthèse des effets des précipitations acides sur les micro-organismes, une réduction de l'ordre de 50% de l'activité respiratoire quand le pH passe de 7,0 à 5,2. Nos résultats révèlent en juin des valeurs moyennes de consommation d'oxygène de 0,541 $mgl^{-1}g^{-1}h^{-1}$ sur la rivière Matamec (pH variant de 4,9 à 5,3) comparativement à des valeurs moyennes de 0,794 sur la rivière Trinité (pH variant de 5,5 à 6,2) et de 1,048 sur la rivière Laval (pH variant de 6,6 à 6,8). Cela représente, sur la rivière Matamec, une réduction de 31,8% et 48,4% de l'activité respiratoire par rapport à celles enregistrées sur les rivières Trinité et Laval. Une réduction de 25% (significativement différente) de l'activité respiratoire existe en juin sur la rivière Trinité par rapport à celle enregistrée sur la rivière Laval. En septembre, la rivière Matamec révèle des valeurs moyennes d'activité respiratoire de 0,364 mg O_2 $l^{-1}g^{-1}h^{-1}$ comparativement à 0,734 et 0,648 sur les rivières Trinité et Laval. Cela correspond sur la Matamec à des réductions de 50% et 43,8% des valeurs de consommation d'oxygène par rapport à celles enregistrée sur les rivières Trinité et Laval. Au niveau de l'analyse de la variance intra-rivière, on observe encore une fois en juin une réduction de 54,6% des valeurs moyennes de consommation d'oxygène dans le secteur amont de la rivière Trinité (amont: 0,360 mg O_2 $l^{-1}g^{-1}h^{-1}$) comparativement au secteur aval (aval: 0,793 mg O_2 $l^{-1}g^{-1}h^{-1}$). Ceci correspond à des pH de 5,5 et 5,9 respectivement en amont et en aval du tronçon principal de la rivière Trinité.

On observe également dans nos données de "septembre" et "Trinité-juin" des corrélations négatives significatives entre les variations de la température et celles des valeurs de consommation d'oxygène (tableau 5). On reconnaît généralement en littérature (Triska et al., 1975; Andersen et al., 1979; Richard et al., 1982) une corrélation positive entre les valeurs de consommation d'oxygène et la température. Les résultats de ces auteurs sont obtenus in situ en période estivale à des températures variant de 4° à 25°C. Dans notre étude les conditions de température enregistrées en juin (0° à 10°C) et septembre (7,5° à 15°C) ne reflètent pas les conditions optimales d'activation thermique des micro-organismes. Suberkropp et Klug (1976) signalent que la température optimale des bactéries et champignons présents dans le ruisseau Augusta Creek (Michigan) se situe entre 15° et 22°C alors que peu de bactéries sont actives entre 0° et 5°C. Richard et al. (1982) notent que les variations de consommation d'oxygène enregistrées dans leurs expériences in situ dépassent largement celles attendues par la règle du Q_{10} et ne peuvent être attribuées aux seules différences de température mais aussi à des différences de colonisation par les micro-organismes.

Si on réfère aux figures 6 et 7, on observe en septembre et en juin une relation étroite entre les variations de consommation d'oxygène inter et intra-rivière et les valeurs de pH. Le niveau d'acidité (pH) serait le premier facteur déterminant l'amplitude des valeurs de consommation d'oxygène, tel que mis en évidence par les résultats des corrélations multiples (tableau 5). L'augmentation de température à l'intérieur de chaque rivière, favoriserait également la hausse de l'activité respiratoire, sauf si cette hausse de température correspond en même temps à une baisse du pH (tributaires; Matamec-septembre); on peut voir également que pour des températures identiques, accompagnées de hausses de pH, on note une hausse de l'activité respiratoire intra-rivière (tributaires, Trinité-septembre). Au niveau de la variation de l'activité respiratoire inter-rivière, on peut visualiser en juin (figure 7) l'influence prédominante du pH sur l'activité respiratoire. En septembre, le pH détermine encore ici un niveau d'activité respiratoire significativement plus bas sur la rivière Matamec;

les températures élevées enregistrées au même moment sur la rivière Matamec, combinées aux températures plus faibles, enregistrées sur la rivière Trinité, mais caractérisées par des pH plus élevés, expliqueraient la corrélation négative entre la consommation d'oxygène et la température. En fait, l'influence prédominante du pH viendrait masquer l'influence de la température; la corrélation négative exprimerait l'effet antagoniste fournit par le niveau d'acidité, effet inhibant ou minimisant la hausse de l'activité respiratoire attendue par la hausse de la température dans le milieu.

À ce stade-ci de notre recherche, dans les limites d'interprétation définies par notre protocole, nous pouvons comprendre qu'il existe une activité respiratoire des bactéries et champignons significativement différente en milieu lotique acide, milieu représenté par la rivière Matamec et le tronçon amont printanier de la rivière Trinité. Les bactéries sont connues pour leur sensibilité sélective aux baisses de pH. Nous savons aussi qu'il existe des comportements différents des populations de champignons aux baisses de pH (Hall et Likens, 1980). La prochaine étape du réseau de surveillance écologique devrait être orientée vers la détermination des structures des populations acidophiles-acidophobes actives dans les rivières sélectionnées en 1984-85 et possiblement étendre l'échantillonnage à l'ensemble des 15 rivières du réseau de surveillance physico-chimique de la Haute, Moyenne et Basse Côte-Nord.

CONCLUSION

L'étude a permis de mettre en évidence que:

- Il existe pour les trois rivières une différence significative dans le temps des valeurs moyennes de consommation d'oxygène;
- en septembre, la rivière Matamec diffère des deux autres rivières et en juin, les trois rivières révèlent des activités respiratoires significativement distinctes;
- Il n'existe aucune différence significative des valeurs moyennes de consommation d'oxygène intra-rivière, saison par saison, sauf sur la rivière Trinité, en juin;
- Il existe une dépendance hautement significative entre l'activité respiratoire des bactéries-champignons et la combinaison des valeurs de pH et température; lorsqu'on analyse la variation spatiale des valeurs de consommation d'oxygène des trois rivières pour une saison donnée, le pH contribue à plus de 99% en juin et à 63% en septembre à la variation des valeurs d'activité de la masse microbienne. Sur la rivière Trinité, en juin, le pH contribue à plus de 88% de la variance des valeurs de consommation d'oxygène intra-rivière;
- dans des conditions non optimales d'activation thermique des micro-organismes, nous observons un effet prédominant du pH, effet inhibant ou minimisant la hausse de l'activité respiratoire attendue de la hausse de la température;
- on observe en milieu acide (rivière Matamec et secteur amont printanier de la rivière Trinité) pour des temps d'acclimatation identique, une réduction de l'activité respiratoire de l'ordre de 35% à 55% par rapport à celle enregistrée dans les milieux non acides (rivière Laval et Trinité).

La mesure de l'activité respiratoire des communautés bactériennes et fongiques des milieux lotiques érosionnels des rivières de la Côte-Nord apparaît en première analyse comme un outil biologique capable de déterminer un effet acide et de mettre en évidence en juin le gradient d'acidité actuelle des rivières de la Côte-Nord. La rentabilité scientifique d'un tel outil serait rehaussée par une étude parallèle des caractéristiques acidophiles-acidophobes des populations bactériennes et fongiques impliquées dans l'activité respiratoire.

REMERCIEMENTS

Nous voulons remercier pour leur aide professionnelle et technique Messieurs Guy Gosselin, Philippe Schwab et Viateur Dubé ainsi que Madame Andrée Labrecque. Notre gratitude s'adresse également à Messieurs Yvon Richard du ministère de l'Environnement Québec, Claude Langlois du ministère de l'Environnement Canada et Jean-Jacques Frenette, biologiste-conseil qui ont révisé le présent document. Nous remercions aussi Messieurs Aubin Rouleau et André Gingras du ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, des régions de Sept-Iles et Forestville pour leur collaboration très appréciée tout au long des nombreuses phases de réalisation de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

Ahern et Leclerc, 1980. Mesures biologiques de l'impact du matacil 1,4 OSC en eaux courantes. Rapport du service entomologique section forêt, ministère Energie et Ressource du Québec, 151 p.

Ahern, 1984. Synthèse des travaux exécutés par le MPO dans le cadre du programme des précipitations acides: période 1981-1984. Rapport interne, section Habitat du poisson, ministère des Pêches et des Océans: 67 p.

Anderson, N.H. and J. R. Sedell, 1979. Detritus processing by macro invertebrates in stream écosystems. Ann. Rev. Entomol. 24: 351-377.

Bick, H. et E.F. Drews, 1973. Hydrobiologia 43: 393-402.

Cummins, K.W., 1973. Trophic relations of aquatic insects. Ann. Rev. Entomol. 18: 183-206.

Cummins, K.W., 1974. Structure and function of stream ecosystems. Bioscience 24: 631-641.

Deilsle, C.E., Roy-Arcand, L., Bouchard, M.A., 1985. Effets des précipitations acides sur les divers écosystèmes: synthèse bibliograhique. CINEP Ecole Polythechnique de Montréal; 307 p.

Haines, T.A., 1981. Acidic precipitation and its consequences for aquatic ecosystems: a review. Trans. Amer. Fish. Soc., Vol 110, No 6: 669-707.

Hall, R., Likens, G., 1980. Ecological effects on experimental acidification on a stream ecosystem. Dans Proc. Int. Conf. Ecol. Impact Acid Precip., Norway, Drablos, D. Tollan, A. (eds), p. 375-376.

Hendrey, G.R., Baalsrud, K., Traaen, T., Laake, M., Raddum, G., 1976. Acid precipitation: some hydrobiological changes. Ambio 5: 224-227.

Langlois, C., Y. Vigneault, A. Nadeau et A. Ahern, 1984. Préoccupations sur les effets des précipitations acides sur le poisson et son habitat au Québec. Rapp. Man. Can., Sci. halieut. aquat. no 1753: v + 19 p.

Leivestad, H., C. Hendrey, I. Muniz, and E. Snekjik, 1976. Effects of acid precipitation on freshwater organisms. Pages 86-111 IN F. Braekke Editor. Acid precipitation - Effects on Forest and Fish Project. Research report 6, AAS. Norway.

Minshall, C.W., 1967. Role of allochtonous detritus in the trophic structure of a woodland springbrook community. Ecology 49: 139-149.

Nelson, D.J. and Scott, D.C., 1972. Role of detritus in the productivity of a rock-out crop community in a Piedmont stream. Limnol. Oceanogr. 7: 396-413. RAO S.S. and D.K. Burnison, 1976. Bacterial distribution in Lake Eric. J. Fish. Res. Bd. Canada 33: 574-580.

Richard, Y. N. Laflamme, et G. Moreau, 1982. Colonisation par les micro-organismes, évolution chimique des feuilles de différentes espèces d'arbres (peuplier, aulne, myrique) dans des eaux oligotrophes du Bouclier canadien et incidence sur leur utilisation par le macro-invertébrés. Hydrobiologia 96: 65-72.

Suberkropp, K. et Klug, M.J., 1976. Fungi and bacteria associated with leaves during processing in a woodbang stream. Ecology 57: 707-719.

Traaen, T.S. and Laake, M., 1980. Effects of acidity on decomposition of organic matter in aquatic environments. Dans Proc. Int. Conf. Ecol. Impact Acid Precip., Norway, Drablos, D. Tollan, A. (eds), p. 340-341.

Triska, F.J., Sedell, J.R. et Buckley, B., 1975. The processing of conifer and harwood leaves in two coniferous forest streams: II. Biochemical and nutrient changes. Verh. Int. Verein. Limnol. 19: 1628-1639.

Walsh, G. et Y. Vigneault, 1986. Analyse de la qualité de l'eau de rivières de la Côte-Nord du golfe du Saint-Laurent en relation avec les processus d'acidification (Québec): Rapp. tech. can. sci. halieut. et aquat. no 1540: x + 118 p.

Wetzel, R.G., 1983. Limnology, second edition, Saunders College Publishing, Holt, Rinehartavel Winston, the Dryden press; 767 p.

ANNEXES

Annexe 1-a. Mesures de consommation d'oxygène par les bactéries et champignons pour les rivières et stations échantillonnées en septembre 1984 (durée d'exposition: 18-20 jours).

Rivière	Station	Consommation d'O_2 ($mg\ l^{-1}g^{-1}h^{-1}$)					pH	T°
Matamec	Amont:	0,431	0,259	0,323	0,072		5,7	11,0
	Aval:	0,397	0,442	0,183	0,542	0,269	6,4	15,0
	Tributaire:							
	Rat musqué	0,419	0,102	0,318	0,427	0,248	6,4	13,5
	Thom	0,583	0,385	0,178	0,464	0,684	6,7	13,5
	Latour	0,279	0,328	0,605	0,374	0,546	6,2	12,0
Trinité	Amont:	0,575	0,703	0,808	0,558	0,534	6,6	7,5
	Aval:	1,058	0,808	0,975	0,489		6,8	10,5
	Tributaire:							
	Fafard	0,278	1,078	0,936	0,357	0,586	6,4	9,0
	Crique Fish	0,473	1,143	0,629	0,564	0,614	6,5	9,0
	Labrecque	0,469	0,640	0,887	0,904		6,6	9,0
	Bilodeau	0,688	1,032	1,178	0,804	0,799	6,8	10,5
Laval	Amont	0,434	0,401	0,676			6,8	13,0
	Aval	0,771	0,872	0,739			7,0	14,0

Annexe 1-b. Mesures de consommation d'oxygène par les bactéries et champignons pour les rivières et stations échantillonnées en juin 1985 (durée d'exposition: 16-19 jours).

Rivière	Station	Consommation d'O_2 ($mg\ l^{-1}g^{-1}h^{-1}$)			pH	T°
Matamec	Amont:	0,600	0,230	0,580	4,9	0,5
	Aval:* (aux Rochers)	0,380	0,440	0,600	5,2	4,0
	Tributaire:					
	Rat musqué					
	Thom	0,720	0,830	0,490	5,3	1,0
Trinité	Amont:	0,490	0,430	0,160	5,5	6,5
	Aval:	0,770	0,700	0,910	5,9	9,0
	Tributaire:					
	Fafard	1,060	1,060	1,040	6,0	6,5
	Crique Fish					
	Labrecque					
	Bilodeau	1,020	0,700	1,200	6,2	10,0
Laval	Amont	1,470	0,780	0,803	6,6	4,0
	Aval	1,080	1,080	1,080	6,7	6,0

* Valeurs mesurées dans le secteur aval de la rivière aux Rochers, en remplacement des données aval non disponibles de la rivière Matamec.

Annexe 1-c. Mesures de consommation d'oxygène par les bactéries et champignons pour les rivières et stations échantillonnées en novembre 1984 (durée d'exposition: 55-58 jours).

Rivière	Station	Consommation d'O_2 (mg/l/g de feuilles)			pH	T°
Matamec	Amont:	0,654	0,555	0,796	5,5	1,0
	Aval:	0,250	1,381		6,2	6,0
	Tributaire:					
	Rat musqué	1,028	0,887		6,2	4,0
	Thom	0,250	1,381		6,5	2,0
Trinité:	Amont:	0,344	0,852		7,0	0,5
	Aval:	0,541	0,444		7,0	0,5
	Tributaire:					
	Fafard	0,457	0,527		6,6	0,0
	Cr. Fish					
	Labrecque	1,075	0,841	1,019	6,8	1,0
	Bilodeau	1,231	0,722	0,804	6,8	1,0
Laval	Amont:	0,712	0,644	0,529	6,7	4,0
	Aval:	1,330	1,130	0,565	7,0	6,0

Annexe 2: Méthode de titration micro-Winkler

Le protocole de la méthode Micro-Winkler ayant été ajusté pour la détermination de l'oxygène dissous contenu dans un volume de 500 ml d'eau, nous présentons ici en détail les différentes étapes de la méthode Micro-Winkler et la recette des réactifs utilisés.

a) Microdétermination de l'oxygène dissous par la méthode Micro-Winckler

- Dans les seringues en verre d'une capacité de 20 ml et munies d'une aiguille de 5 cm, prélever sous la couche d'huile 20 ml d'eau.
- Inverser la seringue, l'aiguille vers le haut, en prenant soin de tenir le piston.
- Chasser les bulles d'air en frappant légèrement sur la seringue.
- Ramener le volume d'eau à 15 ml (±1 ml).
- Planter au bout de chaque aiguille un bouchon de liège, ceci évitera au piston de bouger.
- Préparer 3 seringues Hamilton de 100 µl chacune (des seringues à tuberculine de 0,25 cc pourraient suffire).
- Chaque micro-seringue ne doit être utilisée que pour un seul réactif.

  Seringue # 1: pipeter 0,1 ml ± ,01 de sulphate de manganèse (#1)

  Seringue # 2: pipeter 0,1 ml ± ,01 d'une solution alkaline-iodide-azide (#2)

  Seringue # 3: pipeter 0,1 ml ± ,01 d'acide sulfurique (#3)

- À chacune des seringues de 20 ml, enlever l'aiguille en prenant soin que le piston ne bouge pas.
- Faire pénétrer profondément l'aiguille de la micro-seringue #1 par l'ouverture de la seringue de 20 ml.
  Injecter la réactif #1.
- Injecter la réactif #2.
- Reboucher la seringue de 20 ml avec son aiguille et agiter.
- Laisser reposer le précipité et agiter une seconde fois.

- Injecter le réactif #3.

- Reboucher la seringue et agiter.

N.B.: Ces manipulations doivent être refaites pour chacun des échantillions.

b) Évaluation de la concentration d'oxygène

- Transférer le contenu de chaque seringue dans des erlenmayers de 30 ml.

- Ajouter 2 à 3 gouttes d'une solution d'amidon (réactif #4).

- Titrer en agitant constamment avec une solution de 0,025 N de thiosulphate. La solution de thiosulphate doit être déversée lentement à l'aide d'une micro-burette Hamilton de 250 µl.

- Noter la quantité de thiosulphate déversée pour que la solution devienne incolore.

- Calcul: 0,067 ml de thiosulphate vaut 1,0 mg O_2 / litre.

- Faire sécher à 80°C pendant 24 heures la matière organique de chaque erlenmayer pour évaluer son poids sec.

- Evaluer la quantité de O_2 consommée en mg O_2 $l^{-1}g^{-1}h^{-1}$.